

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Igor Dolenjak

# UTJECAJ SKLOPA KROŠNJI NA PRIZEMNI SLOJ BUKOVIH ŠUMA

Diplomski rad

Zagreb, 2010. godina

Ovaj rad izrađen je u Botaničkom zavodu, pod vodstvom doc. dr. Sven Jelaska, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistar Ekologije i zaštite prirode.

*Zahvaljujem se mentoru doc. dr. Svenu Jelaski bez kojeg bi ovaj rad bilo nemoguće provesti. Također se zahvaljujem kolegicama Željki Drdar i Margariti Miletić koje su sudjelovale pri obavljanju terenskog istraživanja. Posebice se zahvaljujem djevojci Dajani koja mi je mnogo pomogla pri pisanju rada te svojim roditeljima koji su me podupirali tijekom cijelog studija.*

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno - matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## UTJECAJ SKLOPA KROŠNJI NA PRIZEMNI SLOJ BUKOVIH ŠUMA

IGOR DOLENJAK

Ovo istraživanje provedeno je na području parka Prirode Medvednica. Cilj istraživanja je bio ustanoviti utjecaj sklopa krošnji na prizemni sloj bukovih šuma, te testirati koliko je hemisfernih fotografija sklopa krošnji po plohi šumske vegetacije dovoljno za postizanje sličnih rezultata. Istraženo je ukupno sedam ploha u tri zajednice bukovih šuma. Na svakoj plohi je snimljeno devet hemisfernih fotografija sklopa krošnji na pravilnoj 3x3 mreži, popisan i analiziran floristički sastav te su uzeti uzorci zemlje radi mjerenja pH tla. Fotografije su analizirane pomoću programa Gap Light Analyzer te su dobiveni rezultati otvorenosti sklopa krošnji i indeksa lisne površine. Pozitivna korelacija otvorenosti sklopa krošnje i Ellenbergovih indeksa za svjetlost i broja vrsta na plohama je izostala. Povećanje otvorenosti sklopa krošnji odražavala se na povećano zakiseljavanje tla što je bio dominantniji čimbenik za razvoj prizemne flore od raspoloživog svjetla.

Rad sadrži 42 stranice, 10 slika, 13 tablica, 33 literaturna navoda. Jezik izvornika: hrvatski.

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: Medvednica, pH, svjetlo, hemisferna fotografija, Ellenberg

Voditelj: Dr.sc. Sven D., Jelaska, doc.

Ocjenitelji: Dr.sc. Sven D., Jelaska, doc.

Dr. sc. Goran I. V. Klobučar, izv. prof.

Dr. sc. Zoran Tadić, doc.

Rad prihvaćen: 05.11.2010.

BASIC DOCUMENTATION CARD
--------------------------

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation Thesis

IMPACT OF CANOPY OPENNESS ON UNDERSTORY VEGETATION IN BEECH FORESTS

IGOR DOLENJAK

This research was conducted in Medvednica Nature Park, with aim to determine impact of canopy openness on understory vegetation in beech forest and to test how many hemispherical photographs per plot is enough to obtain similar results. Overall seven plots in three beech forest associations were surveyed. Nine photographs across regular 3x3 grid were taken on each plot, present flora recorded and analysed, as well as soil samples taken for measuring soil acidity. Photographs were analyzed using Gap Light Analyzer software for obtaining canopy openness and leaf area index values. Results has show that there is no positive correlation between canopy openness and Ellenberg's indexes for light and number of species. Increased canopy openness was followed with increase acidity that turned out to be much more important environmental factor for development of understory vegetation in these forests than the available light.

Thesis contains 42 pages, 10 pictures, 13 tables, 33 references. Original in: Croatian.

Thesis deposited in Central biological library

Key words: Medvednica, pH, light, hemispherical photography, Ellenberg

Supervisor: Dr. Sven D., Jelaska, Asst. Prof.

Reviewers: Dr. Sven D., Jelaska, Asst. Prof.

Dr. sc. Goran I. V. Klobučar, Assoc. Prof.

Dr. sc. Zoran Tadić, Asst. Prof.

Thesis accepted: 05.11.2010.

## Sadržaj

1.	UVOD.....	1
1.1.	Značaj svjetla kao abiotičkog čimbenika .....	1
1.2.	Bukove šume u Hrvatskoj .....	3
1.3.	Ciljevi istraživanja .....	4
2.	MATERIJALI I METODE .....	5
2.1.	Područje istraživanja.....	5
2.2.	Terensko uzorkovanje .....	8
2.2.1.	Floristički sastav .....	8
2.2.2.	Sklop krošnji mjeren pomoću hemisferne fotografije .....	8
2.2.3.	Mjerenje pH tla.....	11
2.3.	Obrada podataka .....	11
2.3.1.	Analiza florističkog sastava .....	11
2.3.2.	Analiza značajki krošnji.....	12
2.3.3.	Analiza linearne koreliranosti.....	14
2.3.4.	Testiranje razlika srednjih vrijednosti otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine Friedman ANOVA sumom rangova .....	14
3.	REZULTATI .....	15
3.1.	Floristički podaci .....	15
3.2.	Sklop krošnji.....	30
3.3.	Mjerenje pH tla .....	32
3.4.	Linearna koreliranost značajki florističkog sastava sa sklopom krošnji .....	32
3.5.	Friedman ANOVA suma rangova za srednje vrijednosti otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine.....	34
4.	RASPRAVA .....	35
5.	ZAKLJUČAK .....	38
6.	LITERATURA.....	39

# 1. Uvod

## 1.1. *Značaj svjetla kao abiotičkog čimbenika*

Svjetlo je atmosferski ekološki faktor prijeko potreban za život svih autotrofnih organizama, neke skupine mikroorganizama, dok je za heterotrofne organizme uglavnom nepotrebno, a u nekim slučajevima i štetno (Gračanin i Ilijanić 1977). Svjetlost ima velik učinak na sastav i strukturu cjelokupnog živog svijeta. Za razliku od temperature svjetlo je na Zemlji mnogo ravnomjernije raspodijeljeno. Na površini Zemlje postoje područja u kojima život biljaka nije moguć zbog niskih temperatura, no ne postoje veća područja gdje život terestričkih biljaka nije moguć zbog previsokog ili preniskog intenziteta svjetlosti. Upravo zbog toga svjetlost ima manje značenje za geografsko rasprostranjivanje vegetacije nego temperatura. Međutim, svjetlo je važan faktor pojavljivanja vegetacije u pojedinim užim područjima iste geografske zone. U svim zonama nalazimo biljke svjetla - heliofite, i biljke sjene - skiofite.

Različiti intenziteti svjetla, ne samo u različitim područjima Zemlje, na različitim nadmorskim visinama, već i u različito osvijetljenim zajednicama i ekosistemima imaju znatan utjecaj na formiranje strukturnih svojstava biljaka, njihovu morfologiju, rast, razvoj i opstanak na određenim staništima. Kad govorimo o svjetlu kao ekološkom faktoru tada najprije mislimo na vidljiv dio spektra, duljine vala 360 do 760nm, a tek onda na ultraljubičaste zrake koje su također fiziološki aktivne, ali njihova količina čini tek 1% od ukupnog sunčevog zračenja. Ultraljubičaste zrake primjerice djeluju na sintezu antocijana, na fototropne procese, inaktiviraju hormone rasta, a ako su intenziteti tih zraka veliki, mogu uvjetovati i nanizam biljaka na visokim planinama (Gračanin i Ilijanić 1977). Za ekološka promatranja važni su vrsta svjetla, intenzitet svjetla te vrijeme djelovanja svjetla.

Svjetlo kao abiotički čimbenik ima velik utjecaj na sastav i brojnost vrsta u prizemnom sloju šumskih zajednica (Siebernagel i Moeur 2001; Rankin i Tramer 2002; Jelaska 2004; Jelaska i sur. 2006). Istraživanje poput onog Rankina i Tramera (2002.) pokazuje kako biljke prate formiranje otvora u šumi do kojeg primjerice dolazi zbog vjetroloma, tj.

prostorna dinamika razvoja pojedine zajednice prati prostornu dinamiku otvora, posebice u listopadnim šumama. No unatoč tome, sve biljke ne pokazuju jednoličan odgovor na formiranje otvora (Rankin i Tramer 2002, Holeska 2003). Neka pak istraživanja koja su uz utjecaj svjetla na prizemni sloj, uključila i vlagu zraka te vlažnost tla, pokazuju kako svjetlost nema u svim slučajevima najznačajniji utjecaj na sastav i brojnost biljnih vrsta u prizemnom sloju, već to upravo znaju biti vlaga zraka i vlažnost tla (Leuchner i Lenzion 2009).

Mjerenjem otvorenosti sklopa krošnji možemo procijeniti utjecaj sklopa krošnji na prizemni sloj šumske vegetacije jer otvorenije krošnje propuštaju više svjetlosti, što pogoduje vrstama koje rastu na osvjetljenijim staništima. Sklop krošnje također utječe na rast, a posebice na smrtnost klijanaca (Lhotka i Loewenstein 2008) u prizemnom sloju šumske vegetacije te izrazito utječe na sloj grmlja u prizemnom sloju (Klinka i sur. 1996). Primjerice, na brojnost klijanaca hrasta lužnjaka pozitivno utječe niži stupanj izravnog i difuznog svjetla (Ostrogović i sur. 2010) kojeg regulira sklop krošnje. Nadalje, mnogi autori navode kako sunčeva svjetlost koja prodire kroz krošnju ima znatan utjecaj na abiotičke faktore poput temperature zraka, temperature tla, vlažnosti, brzinu vjetra, razgradnju te prozračivanje tla (Chen i Franklin 1997, Chen i sur. 1999). Čovjek svojim boravkom također utječe na šumski ekosustav, no da se šumski ekosustav mijenja i u uvjetima potpune zaštite, pri kojima isključujemo utjecaj čovjeka, dokazuju istraživanja poput onog koje je proveo Lysik (2008) u bukovim šumama unutar zaštićenog područja u Poljskoj.

Mjerenje Sunčevog zračenja obuhvaća kratkovalno zračenje koje prolazi kroz atmosferu kao izravno ili raspršeno zračenje te dugovalno zračenje Zemlje i atmosfere. Za praktično korištenje energije Sunčevog zračenja važna su mjerenja ukupnog, raspršenog i izravnog zračenja vodoravne plohe. Najčešće se mjeri trajanje sijanja Sunca iz kojeg se u nedostatku mjerenja Sunčevog zračenja može procijeniti ozračenost.



## **1.2.      *Bukove šume u Hrvatskoj***

Obična bukva u Hrvatskoj se pojavljuje u nizinskom vegetacijskom pojasu šume hrasta lužnjaka i običnoga graba, nešto više u brežuljkastom pojasu u čistim ili mješovitim sastojinama s hrastom kitnjakom, a mješovite ili čiste sastojine tvori u brdskom, gorskom i pretplaninskom pojasu. Pojava bukve u nizinskom području je vezana uz mikrouzvisine izvan dosega poplavnih voda, na hidromorfnim ili terestričnim tlima (Matić 2003).

U nizinskoj istočnoj Hrvatskoj bukva raste od 100 m n.v. i na tim lokalitetima nije ograničena parametrima klime već mikroreljefom i edafskim prilikama. Široko je rasprostranjena u brdskim područjima međuriječja Save i Drave te središnje Hrvatske. Na tim područjima prevladavaju bukove šume od 400 m n.v. do 750 m n.v. što se smatra optimalnim za razvoj obične bukve u Hrvatskoj. Bukva također raste i u Gorskom kotaru, na toplijim staništima submontanskog i montanskog pojasa, do približno 700 m n.v., a na većim visinama dolazi pomiješana s običnom jelom. Na Dinaridima od 1000 m n.v. do 1500 m n.v. ponovno prevladava obična bukva, jer tada obična jela postupno nestaje. Povećanjem nadmorske visine i skraćanjem vegetacijskog razdoblja visina stabala bukve se smanjuje te prelaze u klekovinu bukve. Bukove šume rastu i na granici s obalnim pojasom, iznad šuma hrasta medunca (Matić 2003).

Bukva je eurivalentna vrsta, o čemu govori njena rasprostranjenost u Hrvatskoj. Ona je vrlo rasprostranjena, kako u horizontalnom, tako i u vertikalnom smjeru. Bukove šume rastu u području gotovo svih tipova klima koji se prema Köppenovoj klasifikaciji pojavljuju u Hrvatskoj (Matić 2003).

U glavnom području svoje rasprostranjenosti u Hrvatskoj, od brežuljkastog do subalpskog pojasa, bukove, hrastovo-bukove i bukovo-jelove sastojine nalaze se pretežito na različitim automorfnim, a vrlo rijetko na hidromorfnim tlima. Unutar svog areala u Hrvatskoj, bukva u čistim ili mješovitim sastojinama u potpunosti izostaje na staništima ekstremnih edafskih uvjeta (suha i plitka tla na ocjeditim terenima i prisojnoj ekspoziciji, položaji sa stagnacijom podzemne vode u zoni rizosfere i/ili na površini tla) te ekstremnih klimatskih prilika (Matić 2003).

### **1.3.      *Ciljevi istraživanja***

Glavni cilj istraživanja je ustanoviti u kojoj mjeri zatvorenost sklopa krošnji utječe na sastav prizemnog sloja bukovih šuma Medvednice. Polazna hipoteza je da se s otvorenijim sklopom krošnji, uslijed većeg intenziteta svjetlosti u prizemnom sloju u takvim sastojinama povećava broj biljnih vrsta. Bukove šume su odabrane s obzirom na njihovo regularno (jednodobno) gospodarenje gdje u starijim sastojinama očekujem veće intenzitete svjetla u prizemnom sloju.

Dodatni cilj je testirati koliko je hemisfernih fotografija sklopa krošnji po plohi šumske vegetacije dovoljno za postizanje sličnih rezultata.

## 2. Materijali i metode

### 2.1. *Područje istraživanja*

Istraživanje sam proveo na južnoj padini središnjeg profila masiva Medvednice koji je smješten između 15° 49' 45" i 16° 07' 45" geografske dužine te 45° 49' 00" i 45° 59' 00" (Nikolić i Kovačić 2008) geografske širine. Medvednica se pruža u smjeru jugozapad-sjeveroistok, a svojim rubnim dijelovima se stapa sa Zagrebom. Medvednica je vrlo privlačna za sve posjetitelje jer ima vrlo razvijenu mrežu planinarskih, biciklističkih, skijaških te poučnih staza, a na raspolaganju su i brojni planinarski domovi.

Park prirode Medvednica izgrađuju stijene svih genetskih tipova: magmatske, sedimentne i metamorfne koje potječu iz razdoblja paleozoika do kvartara, što govori o dugoj geološkoj povijesti te složenosti tektonskih procesa (Anonymus 2005). Medvednica je bogata brojnim potocima i izvorima. Izvori se javljaju na mjestima nepropusnog škrljavca, a na vapnenačkim i dolomitnim stijenama koje su propusne nema površinskog otjecanja vode, već se oblikuju tipični krški oblici. Što se klime tiče, Medvednica se po klimatološkim obilježjima ponaša kao „otok“ u odnosu na okolne nizinske krajeve. Ima više oborina, niže temperature zraka i veću količinu snježnog pokrivača (Anonymus 2005).

Na području Parka prirode Medvednica šume i šumske zajednice zauzimaju oko 64% površine (Anonymus 2005). Najzastupljenije vrste su obična bukva, jela, hrast kitnjak, gorski javor, grab, joha i pitomi kesten. Šumske sastojine Medvednice predstavljaju veliko bogatstvo biljnih vrsta i raznolikosti šumskih oblika te ujedno čine temeljni fenomen Parka prirode Medvednica. To je rezultat razvitka vegetacije ovog prostora u prošlosti i vrlo raznolikih ekoloških uvjeta (klimatskih utjecaja, nadmorskih visina, izloženosti, nagiba, tipova i dubina tala i dr.) pod kojima su se šumske zajednice razvile u današnji oblik. To se posebno odnosi na južne padine Medvednice koje predstavljaju jedan od najboljih primjera zoniranja šumske vegetacije u Hrvatskoj (Anonymus 2005). U šumama Medvednice nalazimo s fitocenološkog i prirodno-znanstvenog stajališta vrlo zanimljive šumske zajednice koje pored gospodarskog značenja imaju mnoge

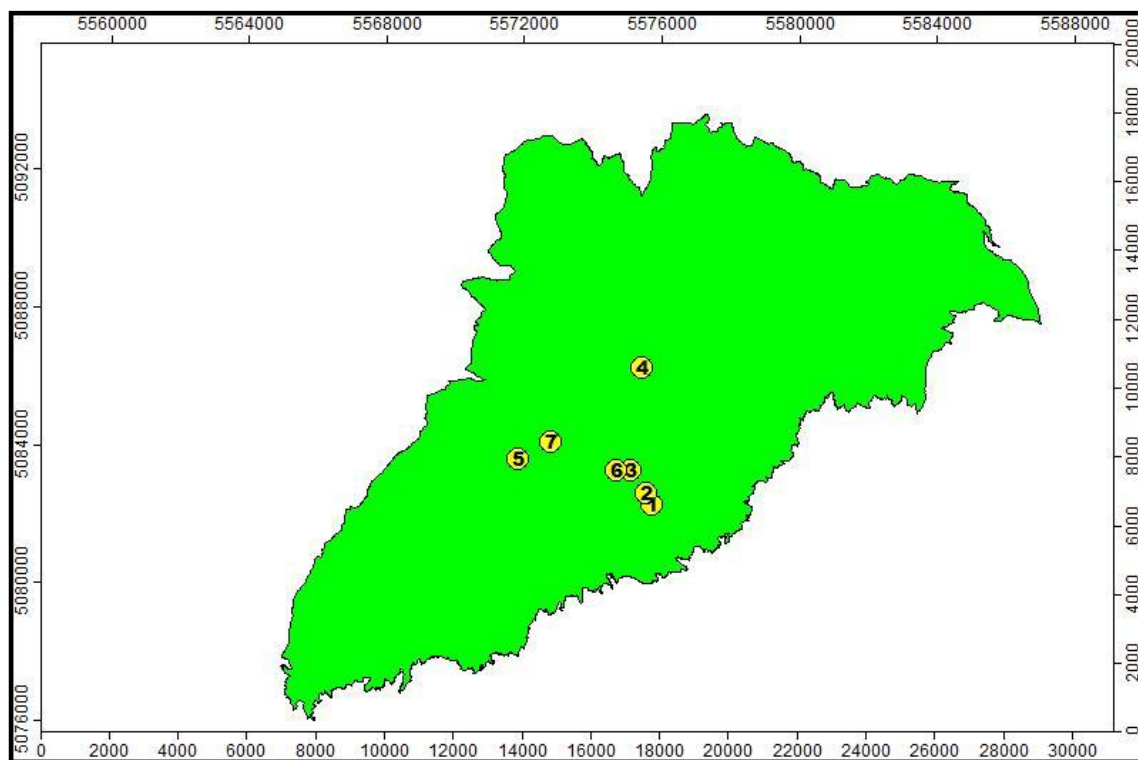
općekorisne vrijednosti (biološka raznolikost, zaštita, estetska, rekreacijska, zdravstvena, turistička, obrazovna i dr.). Na području Parka prirode Medvednica dolaze sljedeće šumske zajednice: šuma hrasta kitnjaka i običnog graba (*Epimedio-Carpinetum betuli* /Ht.1938/Borh 1963), šuma hrasta kitnjaka i pitomog kestena (*Quercu-Castaneetum sativae* /Ht.1938), šuma hrasta kitnjaka s runjicom (*Hieracio racemosi-Quercetum petraeae* /Vukelić 1990/1991), šuma hrasta kitnjaka s bekicom (*Luzulo-Quercetum petraeae* /Hill.1932/Pass.1963), šuma gorskog javora i običnog jasena (*Chrysanthemo macrophylli-Aceretum pseudoplatani* /Ht.1938/Borh.1962) te šuma tise i lipe (*Tilio-Taxetum* Glavač 1958).

Obična bukva na Medvednici dolazi u nekoliko zajednica: ilirska brdska bukova šuma s mrtvom koprivom (*Lamio orvale-Fagetum sylvaticae* I.Horvat 1938), bukova šuma s bekicom (*Luzulo-Fagetum sylvaticae* Meusel 1937) te panonska bukovo-jelova šuma (*Festuco drymeiae-Abietetum* ass. Nova, Vukelić & Baričević 2007). U prve dvije zajednice gospodari se regularno, odnosno nalazimo sastojine gdje su skoro sva stabla bukve jednake starosti, dok se miješanom šumom bukve i jele gospodari preborno (selektivno) pa u sastojinama nalazimo stabla različite starosti.

Iako je velik dio Medvednice prekriven šumskim pokrovom, Medvednica obiluje i velikom raznolikošću biljnih vrsta. Objedinjavanjem podataka iz literature, herbarskih zbirki i opsežnim terenskim istraživanjem utvrđeno je da se vaskularna flora Parka prirode sastoji od 1352 vrsta i podvrsta, no 147 taksona je sporno jer su autori ranijih istraživanja koristili drugačiju taksonomsku nomenklaturu ili su pogrešno determinirali neke biljne vrste, pa ukupna flora Medvednice broji 1205 vrsta i podvrsta vaskularne flore (Dobrović i sur. 2006). Najviše su zastupljene porodice glavočika (*Asteraceae*, *Cichoriaceae*), mahunarki (*Fabaceae*), krstašice (*Brassicaceae*), usnatice (*Lamiaceae*), karanfili (*Caryophyllaceae*), štitarke (*Apiaceae*) i trave (*Poaceae*) (Nikolić i Kovačić 2008). S obzirom na ukupnu hrvatsku floru koja broji oko 5400 (Nikolić 2010) vrsta i podvrsta flora Medvednice je izrazito bogata i raznolika.

Na području Parka prirode Medvednica analizirao sam ukupno sedam ploha (Slika 1) površine 30x30 metara. Plohe sam birao da obuhvatim sastojine različite starosti u regularno gospodarenim bukovim šumama na temelju dostupnih podataka i terenskog

izvida. U konačnici istraživanjem sam obuhvatio: ilirsku brdsku bukovu šumu s mrtvom koprivom (*Lamio orvale-Fagetum sylvaticae*) jednu srednje staru i dvije stare sastojine, bukovu šumu s bekicom (*Luzulo-Fagetum sylvaticae*) mladu, srednju i staru sastojinu te jednu sastojinu panonsko bukovu-jelove šume (*Festuco drymeiae-Abietetum*).



Slika 1: prikaz istraživanih ploha u Parku prirode Medvednica.

## **2.2. Terensko uzorkovanje**

### **2.2.1. Floristički sastav**

Na svih sedam istraživanih ploha popisao sam floristički sastav tijekom lipnja 2010. godine. Sve vrste odredio sam na terenu korištenjem standardne literature (Domac 1994, Rothmaler 2000).

### **2.2.2. Sklop krošnji mjeren pomoću hemisferne fotografije**

Prvu hemisfernu leću konstruirao je Hill (1924) u svrhe proučavanja formacije oblaka. Prvi istraživači koji su ju koristili u biološke svrhe bili su Evans i Coombe (1959). U periodu od 1980. pa sve do danas sve se više razvija proces automatske analize hemisfernih fotografija. Analize hemisfernih fotografija mogu pružiti informacije poput otvorenosti krošnje, indeksa lisne površine ili količinu izravne ili difuzne sunčeve svjetlosti koju propušta krošnja. Pored toga, hemisferne fotografije mogu služiti za kreiranje trodimenzionalne slike krošnji, na način da se krošnja fotografira s više lokacija, a zatim se kompjuterskom analizom dobiva trodimenzionalni prikaz krošnji (Silbernagel i Moeur 2001). Najkvalitetnije hemisferne fotografije se dobivaju kada su snimane u pozadini jednolike svjetlosti, a takvi su uvjeti netom prije izlaska sunca, odmah nakon zalaska sunca ili tijekom dana kada je nebo ujednačeno prekriveno oblacima (Jelaska 2004). To je posebno važno kod relativno zatvorenih krošanja gdje se može javiti odbljesak zraka sunca (Roxburgh i Kelly 1995).

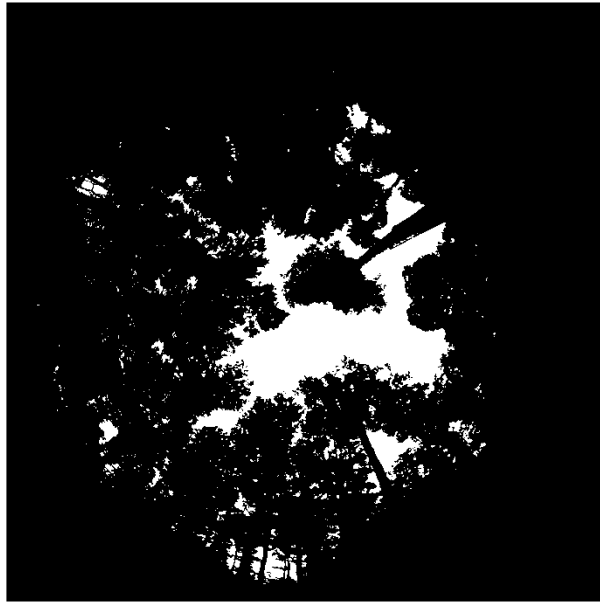
Na istraživanim ploham snimao sam hemisferne fotografije sklopa krošnji koristeći Sigma AF 4.5/2.8 EXDC Circular Fisheye HSM objektiv na Nikon D60 fotoaparatu učvršćenom na tronošcu s ugrađenim libelama, pomoću kojeg sam osiguravao horizontalan položaj leće (Slika 2) prilikom fotografiranja. Na svakoj plohi snimio sam 9 fotografija smještenih u pravilnoj 3x3 mreži s međusobnom udaljenošću od 10 metara, pri čemu su rubne lokacije bile 5 metara odmaknute od ruba plohe prema njenom središtu.



Slika 2: fotoaparat za snimanje hemisfernih fotografija na tronošcu.

Kako idealni uvjeti nisu uvijek prisutni tijekom snimanja sam pokušavao izbjeći izravnu sunčevu svjetlost koja zaslepljuje leću i stvara bljesak na fotografiji koji utječe na rezultate obrade fotografije.

Fotografije sam analizirao pomoću programa „Gap Light Analyzer“ (Frazer i sur. 1999). Ovaj program fotografiju pretvara u crno-bijelu kako bi razlučio postotak bijelog dijela (otvorenost krošnje) od crnog dijela (Jarčuška 2008). Prije same analize u programu, na slikama sam ručno uklanjao odbljesak sunčevih zraka sa listova, grana, debla i tla. Na početku postupka izračunavanja značajki sklopa krošnji, ručno sam odredio graničnu vrijednost (threshold) koja slikovne elemente (pixel) prikazuje kao bijele ili crne (Slika 3). Na taj način određujemo koji dio slike će program analizirati kao nebo (otvorenost krošnji).

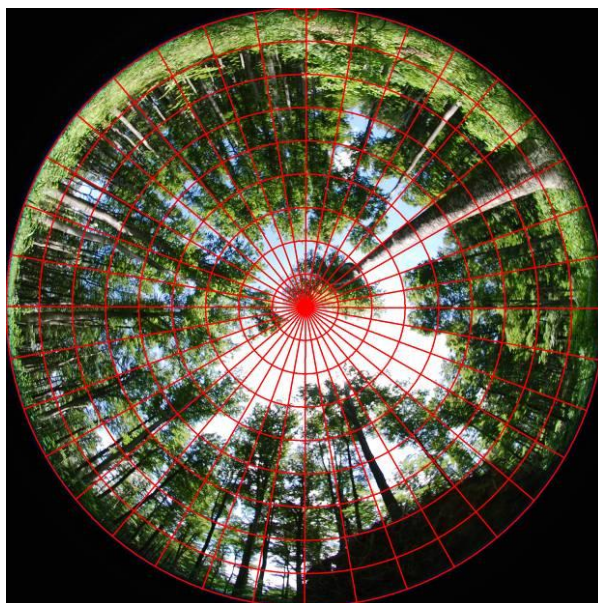


Slika 3: Hemisferna fotografija nakon određivanja granične vrijednosti koja slikovne elemente prikazuje kao bijele ili crne, na temelju čega se određuje koji dio slike je nebo, a koji ne.

Koristeći mrežu koja fotografiju dijeli na 36 azimutnih i 9 zenitnih dijelova (Slika 4), izračunate su dvije značajke krošnji:

1. Indeks lisne površine (LAI) koji izražava površinu lista po jedinici površine tla (Jelaska i sur. 2006). Pritom je korišten zenitni kut od 0 do 60° (LAI4Ring u programu GLA).
2. Otvorenost sklopa krošnji koja na fotografiji predstavlja dio vidljivog neba.





Slika 4: Hemisferna fotografija podijeljena u 36 azimutnih i 9 zenitnih dijelova korištena za izračunavanje indeksa lisne površine (LAI4Ring) i otvorenosti krošnje.

### 2.2.3. Mjerenje pH tla

Na svakoj plohi uzeti su uzorci tla na tri različita mjesta i pomiješani. Mjerena su dva tipa kiselosti tla: aktualni aciditet – kiselost suspenzije 10g tla otopljenog u 25mL vode, te supstitucijski aciditet – kiselost suspenzije 10g tla otopljenog u 25mL otopine kalijevog klorida, KCl. PH je određen pH metrom uz pomoć kombinirane elektrode koja je baždarena puferom pH 4 (citrat/kloridna kiselina) i puferom pH 7 (fosfat).

## 2.3. *Obrada podataka*

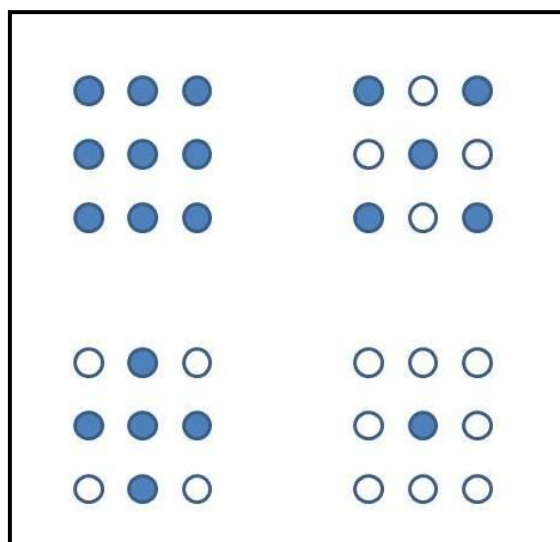
### 2.3.1. Analiza florističkog sastava

Floristički sastav analizirao sam koristeći bazu podataka o flori Hrvatske (Nikolić 2010). Preuzeo sam Ellenbergove indikatorske vrijednosti (svjetlost, temperatura, kontinentalnost, vlaga, dušik (hranjivi), kiselost (pH) te salinitet), životne strategije biljaka (C-S-R strategije) (Grime 1979), životne oblike (na koji način biljka preživljava nepovoljni dio godine) te areal rasprostranjenosti svake biljne vrste. Važno je napomenuti da Ellenbergove indikatorske vrijednosti ne pokazuju ekološki optimum biljne vrste, već sinekološki optimum. Sinekološki optimum pokazuje ekološke zahtjeve biljne vrste u kompeticiji s drugim vrstama. Za Ellenbergove indikatorske vrijednosti (svjetlost,

temperatura, kontinentalnost, vlažnost, dušik, kiselost i salinitet) izračunao sam srednje vrijednosti koje su reprezentativne za plohu, a za ostale florne značajke (CSR strategije, areal i životni oblik) sam izračunao postotne udjele po pojedinoj plohi.

### **2.3.2. Analiza značajki krošnji**

S ukupno devet podataka za otvorenost krošnji i indeks lisne površine za svaku istraživanu plohu, izračunao sam njihove srednje vrijednosti na četiri načina, kao i koristio vrijednosti samo središnje fotografije. Shema za izračunavanje srednje vrijednosti prikazana je na slici 5 za tri načina i središnji lokalitet. Četvrtu srednju vrijednost dobio sam tako da sam pri izračunavanju izuzeo najmanju i najveću vrijednost od ukupno devet podataka. Svakoj vrijednosti pojedine značajke krošnje sam pridružio oznaku, ovisno o tome koju srednju vrijednost odražava. CO9 – vrijednost otvorenosti krošnje dobivena aritmetičkom sredinom svih 9 vrijednosti, CO13579 – vrijednost otvorenosti krošnje dobivena aritmetičkom sredinom vrijednosti 1., 3., 5., 7. i 9. točke na plohi, CO24568 – vrijednost otvorenosti krošnje dobivena aritmetičkom sredinom 2., 4., 5., 6. i 8. točke na plohi, CO5 – otvorenost krošnje 5. točke na plohi, CO bez min. i max. – aritmetička sredina otvorenosti krošnje bez najmanje i najveće vrijednosti. LAI9 – indeks površine lista dobiven aritmetičkom sredinom svih 9 točaka na plohi, LAI13579 – indeks površine lista dobiven aritmetičkom sredinom 1., 3., 5., 7., i 9. točke na plohi, LAI24568 – indeks površine lista dobiven aritmetičkom sredinom 2., 4., 5., 6., 8. točke na plohi, LAI5 – indeks površine lista 5. točke na plohi, LAI bez min. i max. – aritmetička sredina vrijednosti indeksa lisne površine bez najmanje i najveće vrijednosti.



Slika 5: izračunavanje srednjih vrijednosti za otvorenost krošnje i indeks površine lista na četiri načina. Plavi kružići označavaju vrijednosti koje se uzimaju pri računanju te su sukladno tome pridružene i oznake pojedinim vrijednostima. CO9 – vrijednost otvorenosti krošnje dobivena aritmetičkom sredinom svih 9 vrijednosti, CO13579 – vrijednost otvorenosti krošnje dobivena aritmetičkom sredinom vrijednosti 1., 3., 5., 7. i 9. točke na plohi, CO24568 – vrijednost otvorenosti krošnje dobivena aritmetičkom sredinom 2., 4., 5., 6. i 8. točke na plohi, CO5 – otvorenost krošnje 5. točke na plohi, CO bez min. i max. – aritmetička sredina otvorenosti krošnje bez najmanje i najveće vrijednosti. LAI9 – indeks površine lista dobiven aritmetičkom sredinom svih 9 točaka na plohi, LAI13579 – indeks površine lista dobiven aritmetičkom sredinom 1., 3., 5., 7., i 9. točke na plohi, LAI24568 – indeks površine lista dobiven aritmetičkom sredinom 2., 4., 5., 6., 8. točke na plohi, LAI5 – indeks površine lista 5. točke na plohi, LAI bez min. i max. – aritmetička sredina vrijednosti indeksa lisne površine bez najmanje i najveće vrijednosti.

Gore navedeno napravio sam u svrhu testiranja s koliko se najmanje fotografija može provesti istraživanje uz približno jednake dobivene rezultate.

### **2.3.3. Analiza linearne koreliranosti**

Razinu međusobne linearne povezanosti mjerenih značajki odredio sam korištenjem Pearsonovog koeficijenta korelacije za sljedeće parove varijabli (N=7):

- značajke sklopa krošnji s vrijednostima Ellenbergovih indikatorskih vrijednosti za svjetlo i temperaturu te zabilježenim brojem vrsta
- izmjereni pH s vrijednostima Ellenbergovih indikatorskih vrijednosti za reakciju tla (kiselost)
- otvorenosti sklopa krošnji s indeksom lisne površine

### **2.3.4. Testiranje razlika srednjih vrijednosti otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine Friedman ANOVA sumom rangova**

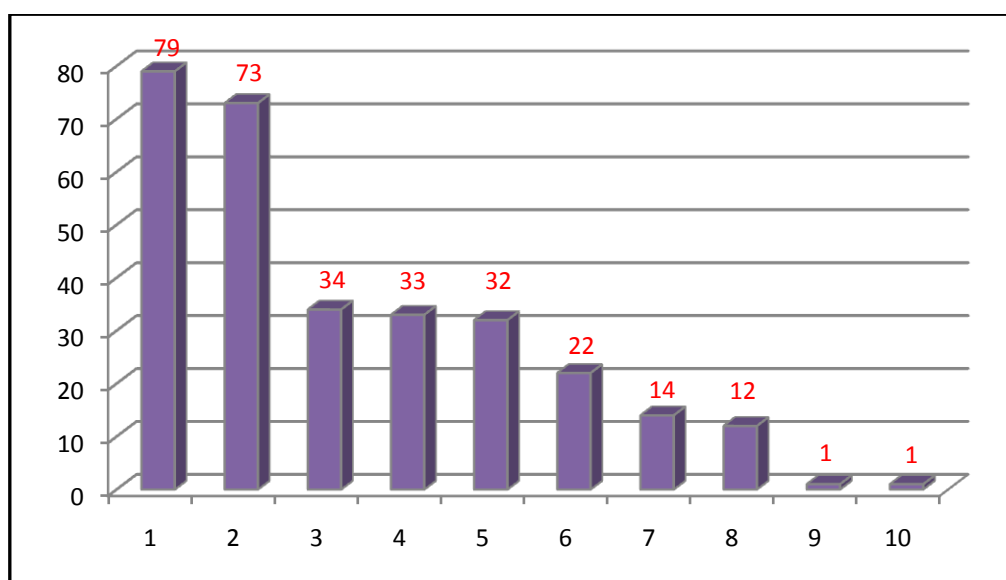
ANOVA ili analiza varijance je statistička metoda koja se koristi za testiranje razlika između pojedinih setova podataka (Gamst i sur. 1998). Friedman ANOVA test je neparametrijski test kojim testiramo razlike u podacima tri ili više zavisnih skupina (Legendre i Legendre 1998). U ovom istraživanju sam testirao srednje vrijednosti otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine kojim ću provjeriti razlikuju li se srednje vrijednosti uz razinu statističke značajnosti  $p = 0,05$ .

### 3. Rezultati

#### 3.1. Floristički podaci

Ukupno sam zabilježio 94 vrste biljaka. Abecedni popis latinskih naziva vrsta po plohama, kao i florističke značajke pojedinih vrsta nalaze se u tablicama 1, 2, 3, 4, 5, 6, i 7.

Slika 6 prikazuje analizu zabilježenih biljnih vrsta s obzirom na centar njihove rasprostranjenosti. Najviše zabilježenih vrsta pripada arktičkom i subatlantskom arealnom tipu, zatim američkom, euroazijskom i predalpskom arealnom tipu, nešto manje montanom i kontinentalnom te po jedna vrsta u nordijskom (*Erigeron annuus* (L.)) i subtropskom (*Aposeris foetida* (L.) Less.) arealnom tipu.



Slika 6: zastupljenost pojedinih arealnih tipova (1 – arktički, 2 – subatlantski, 3 – američki, 4 – predalpski, 5 – euroazijski, 6 – azijski, 7 – montani, 8 – kontinentalni, 9 – nordijski, 10 – subtropski).

Tablica 1: prikaz biljnih vrsta s florističkim značajkama zabilježenih na prvoj plohi, u srednje staroj sastojini zajednice *Luzulo-Fagetum sylvaticae*. Ellenbergove indikatorske vrijednosti (L – svjetlost, T – temperatura, K – kontinentalnost, F – vlaga, R – kiselost, N – dušik, S – salinitet), CSR strategije (1 – kompetitivne, 2 – stres tolerantne, 3 – ruderalne, 4 – kompetitivne ruderalne, 5 – kompetitivne stres tolerantne, 6 – ruderalne stres tolerantne, 7 – CSR-kompetitivne, stres, ruderalne), životni oblik (1 i 2 – fanerofiti, 3 i 4 – hamefiti, 5 – hemikriptofiti, 6 – geofiti, 7 – terofiti).

LATINSKI NAZIV VRSTE	HR. NAZIV	L	T	K	F	R	N	S	CSR	RASPROSTRANJENOST (Areal)	ŽIVOTNI OBLIK
<i>Carex sylvatica</i> Huds.	šumski šaš	2	5	3	5	6	5	0	7	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	5
<i>Cephalanthera rubra</i> (L.) Rich.	crvena naglavica	4	5	4	3	8	4	0	7	F - azijska (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soó	pjegavi kačun	7		2	8		2	0	7		6
<i>Fagus sylvatica</i> L.	bukva	3	5	2	5			0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska(0)	1
<i>Galium sylvaticum</i> L.	šumska bročika	5	5	4	5	6	5	0	5	E - arktička(3), F - azijska(2), H - subatlantska(0)	6
<i>Gentiana asclepiadea</i> L.	šumski srčanik	7		4	6	7	2	0		D - američka (1)	5
<i>Hedera helix</i> L.	bršljan	4	5	2	5			0	5	H - subatlantska (0), J - euroazijska(0)	1/3
<i>Hieracium pilosella</i> L.	mala runjika	7		3	4		2	0	7	B - predalpska (0), E - arktička (2)	5
<i>Luzula luzuloides</i> (Lam.) Dandy et Wilmott	bjelkasta bekica	4		4	5	3	4	0	7	E - arktička	5
<i>Melampyrum nemorosum</i> L.	šumska urodica	5	6	4	4	6	4	0		F - azijska (2), H - subatlantska (0)	
<i>Melampyrum sylvaticum</i> L.	planinska urodica	4	4	5	5	2	2	0		B - predalpska (0), D - američka (0)	7
<i>Picea abies</i> (L.) Karsten	smreka	5	3	6	3					B - predalpska (1), D - američka (0)	1
<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	mnogocvjetni Salamunov pečat	2		5	5	6	5	0	7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Polystichum setiferum</i> (Forssk.) Woyнар	čekinja papratnjača	3	7	2	6	5	5	0	5/7	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	5
<i>Prenanthes purpurea</i> L.	crvena gorčika	4	4	4	5	5	5	0	5	E - arktička (2)	5
<i>Sanicula europaea</i> L.	europska zdravčica	4	5	3	5	8	6	0	7	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	5
<i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz	brašnava oskoruša	6	5	2	4	7	3			D - američka (0), H - subatlantska (0)	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	obična borovnica	5		5		2	3	0	5	A - alpska (0), B - predalpska (0), E - arktička (2)	3

Tablica 2: prikaz biljnih vrsta s florističkim značajkama zabilježenih na drugoj plohi, u mladoj sastojini zajednice *Luzulo-Fagetum sylvaticae*. Ellenbergove indikatorske vrijednosti (L – svjetlost, T – temperatura, K – kontinentalnost, F – vlaga, R – kiselost, N – dušik, S – salinitet), CSR strategije (1 – kompetitivne, 2 – stres tolerantne, 3 – ruderalne, 4 – kompetitivne ruderalne, 5 – kompetitivne stres tolerantne, 6 – ruderalne stres tolerantne, 7 – CSR-kompetitivne, stres, ruderalne), životni oblik (1 i 2 – fanerofiti, 3 i 4 – hamefiti, 5 – hemikriptofiti, 6 – geofiti, 7 – terofiti).

LATINSKI NAZIV VRSTE	HR. NAZIV	L	T	K	F	R	N	S	CSR	RASPROSTRANJENOST (Areal)	ŽIVOTNI OBLIK
<i>Alliaria petiolata</i> (M. Bieb.) Cavara	ljekovita češnjača								4		5
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	šumska bujadika	3		3	7		6	0	1/5	B - predalpska (0), E - arktička (0), M – kontinentalna (0), Z - montana (0)	5
<i>Cardamine bulbifera</i> (L.) Crantz	lukovičasta režuha	3	5	4	5	7	6		7	D - američka (0), F - azijska (2), H - subatlantska (1)	6
<i>Cardaminopsis arenosa</i> (L.)	pješčarska gušarka	9		4	4	6	2	0	7	F - azijska (2)	4/5
<i>Castanea sativa</i> Miller	pitomi kesten								5		
<i>Cephalanthera rubra</i> (L.) Rich.	crvena naglavica	4	5	4	3	8	4	0	7	F - azijska (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Fagus sylvatica</i> L.	bukva	3	5	2	5			0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Galium sylvaticum</i> L.	šumska bročika	5	5	4	5	6	5	0	5	E - arktička (3), F - azijska (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Luzula luzuloides</i> (Lam.) Dandy et	bjelkasta bekica	4		4	5	3	4	0	7	E - arktička	5
<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	mirisavi dvolist	6		3	6	7				B - predalpska (0), E - arktička (2)	6
<i>Prenanthes purpurea</i> L.	crvena gorčika	4	4	4	5	5	5	0	5	E - arktička (2)	5
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	ljekoviti plućnjak	5	6	5	5	8	6	0	7	F - azijska (2), H - subatlantska (1)	5
<i>Quercus petraea</i> (Mattuschka)	hrast kitnjak	6	6	2	5					H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Rubus idaeus</i> L.	malina	7					6		1	B - predalpska (0), E - arktička (0)	2

Tablica 3: prikaz biljnih vrsta s florističkim značajkama zabilježenih na trećoj plohi, u staroj sastojini zajednice *Lamio orvale-Fagetum sylvaticae*. Ellenbergove indikatorske vrijednosti (L – svjetlost, T – temperatura, K – kontinentalnost, F – vlaga, R – kiselost, N – dušik, S – salinitet), CSR strategije (1 – kompetitivne, 2 – stres tolerantne, 3 – ruderalne, 4 – kompetitivne ruderalne, 5 – kompetitivne stres tolerantne, 6 – ruderalne stres tolerantne, 7 – CSR-kompetitivne, stres, ruderalne), životni oblik (1 i 2 – fanerofiti, 3 i 4 – hamefiti, 5 – hemikriptofiti, 6 – geofiti, 7 – terofiti).

LATINSKI NAZIV VRSTE	HR. NAZIV	L	T	K	F	R	N	S	CSR	RASPROSTRANJENOST (Areal)	ŽIVOTNI OBLIK
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	gorski javor	4		4	6		7	0	1	D - američka (0), H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Anemone nemorosa</i> L.	bijela šumarica			3	5			0	7	E - arktička (2)	6
<i>Aposeris foetida</i> (L.) Less.	smrdljiva ognjičica	4	4	4	5	6	5	0		D - američka (0), S - suptropska (0)	5
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	šumska bujadika	3		3	7		6	0	1/5	B - predalpska (0), E - arktička (0), M - kontinentalna	5
<i>Bromus benekenii</i> (Lange) Trimen		5	5	4	5	7	5	0	5		5
<i>Bromus secalinus</i> L.	ražasti ovsik	6	6	3		5		0	4	E - arktička (0)	7
<i>Campanula patula</i> L.	široka zvončica	8	6	4	5	7	5	0	7	E - arktička (0), F - azijska (0), H - subatlantska (0)	5
<i>Campanula persicifolia</i> L.	sjajolisna zvončica	5	5	4	4	8	3	0	7	E - arktička (1), H - subatlantska (0)	5
<i>Campanula trachelium</i> L.	koprivastolisna zvončica	4		3	6	8	8	0	5	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	5
<i>Cardamine bulbifera</i> (L.) Crantz	lukovičasta režuha	3	5	4	5	7	6	0	7	D - američka (0), F - azijska (2), H-subatlantska (1)	6
<i>Cardamine impatiens</i> L.	uškasta režuha	5		4	6	7	8	0	7	E - arktička (0), F - azijska (0)	5
<i>Cephalanthera longifolia</i> (L.) Fritsch	dugolisna naglavica	5	5	3	4	6	4	0	7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	6



<i>Cruciata laevipes</i> Opiz	četverolisna bročika	7	5	5	6	6	7	0	7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	5
<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.	šumska ciklama	4	6	4	5	9	5	0		D - američka (1)	6
<i>Doronicum austriacum</i> Jacq.	austrijski divokozjak	5	3	4	6	7	7	0		D - američka (0)	5
<i>Dryopteris filix- mas</i> (L.) Schott	šumska paprat	3		3	5	5	6	0	5	E - arktička (2), H - subatlantska (0), Z - montana (0)	5
<i>Epilobium montanum</i> L.	gorska vrbolika	4		3	5	6	6	0	5	B - predalpska (0), E - arktička (2)	4
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	jednogodišnja krasolika	7	6		6		8	0	1	P - nordijska (0)	5
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	konopljuša	7	5	3	7	7	8	0	1/7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	5
<i>Euphorbia amygdaloides</i> L.	bademasta mlječika	4	5	3	5	8	5	0	5	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	4
<i>Euphorbia dulcis</i> L.	slatka mlječika	4	5	2	5	8	5	0	7	F - azijska (2), H - subatlantska (1)	6
<i>Fagus sylvatica</i> L.	bukva	3	5	2	5			0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Fragaria vesca</i> L.	šumska jagoda	7		5	5		6	0	7	B - predalpska (0), E - arktička (0), M - kontinentalna	5
<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	mirisna lazarkinja	2	5	2	5	6	5	0	2	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	5
<i>Galium sylvaticum</i> L.	šumska bročika	5	5	4	5	6	5	0	5	E - arktička (3), F - azijska (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Gentiana asclepiadea</i> L.	šumski srčanik	7		4	6	7	2	0		D - američka (1)	5
<i>Geranium robertianum</i> L.	smrdljiva iglica	5		3			7	0	7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	7
<i>Hacquetia epipactis</i> (Scop.) DC.	šumsko volujsko oko										5

<i>Hieracium murorum</i> L.	šumska runjika	4		3	5	5	4	0	2/7	B - predalpska (0), E - arktička (0)	5
<i>Hypericum perforatum</i> L.	rupičasta pljuskavica	7	6	5	4	6	3	0	1	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	5
<i>Lamium orvala</i> L.	velika mrtva kopriva										5
<i>Lapsana communis</i> L.	obična ognjičina	5	6	3	5		7	0	4	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	7
<i>Lunaria rediviva</i> L.	srebrenka	4	5	4	6	7	8	0	1	D - američka (0)	5
<i>Melampyrum nemorosum</i> L.	šumska urodica	5	6	4	5	6	4	0		F - azijska (2), H - subatlantska (0)	
<i>Melampyrum sylvaticum</i> L.	planinska urodica	4	4	5	5	2	2	0		B - predalpska (0), D - američka (0)	7
<i>Melica uniflora</i> Retz.	jednocrvjetni mekuš	3	5	2	5	6	6	0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	6
<i>Mercurialis perennis</i> L.	višegodišnji prosinac	2		3		8	7	0	5	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	6
<i>Milium effusum</i> L.	šumska prosulja	4		3	5	5	5	0	5	E - arktička (2), Z - montana (0)	5
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort.	zidna salatika	4	6	2	5		6	0	7	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	5
<i>Phyteuma spicatum</i> L.	klasasta zečica			4	5	6	5	0	7		5
<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	mnogocrvjetni Salamunov pečat	2		5	5	6	5	0	7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	ljekoviti plućnjak	5	6	5	5	8	6	0	7	F - azijska (2), H - subatlantska (1)	5
<i>Rubus hirtus</i> Waldst. et Kit.	oštrodlakava kupina	7	4	3	5	4	4				3
<i>Sambucus nigra</i> L.	crna bazga	7	5	3	5		9	0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	2

<i>Sanicula europaea</i> L.	europska zdravčica	4	5	3	5	8	6	0	7	H - subatlantska (0), J - euroazijska(0)	5
<i>Scrophularia nodosa</i> L.	čvorasti strupnik	4	5	3	6	6	7	0	5	E - arktička (2)	5
<i>Silene dioica</i> (L.) Clairv.	crveni golesak			4	6	7	8	0	1	E - arktička (2) , J - euroazijska (0)	5
<i>Stachys alpina</i> L.	planinski čistac	7	4	2	5	9	8	0		D - američka (0)	5
<i>Stachys sylvatica</i> L.	šumski čistac	4		3	7	7	7	0	1/4	E - arktička (2)	5
<i>Symphytum tuberosum</i> L.	čvorasti gavez	4		4	6	7	5	0	7	F - azijska (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Urtica dioica</i> L.	dvodomna kopriva				6	7	8	0	1	B - predalpska (0), E - arktička (0)	5
<i>Verbascum nigrum</i> L.	crna divizma	7	5	5	5	7	7	0	1	E - arktička (2)	5
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	dvorednodlakava čestoslavica	6			5			0	7		4
<i>Vicia oroboides</i> Wulfen	žučkasta grahorica	6	5		5	8		0		D - američka (1)	5

Tablica 4: prikaz biljnih vrsta s florističkim značajkama zabilježenih na četvrtoj plohi, u sastojini zajednice *Festuco drymeiae-Abietetum*. Ellenbergove indikatorske vrijednosti (L – svjetlost, T – temperatura, K – kontinentalnost, F – vlaga, R – kiselost, N – dušik, S – salinitet), CSR strategije (1 – kompetitivne, 2 – stres tolerantne, 3 – ruderalne, 4 – kompetitivne ruderalne, 5 – kompetitivne stres tolerantne, 6 – ruderalne stres tolerantne, 7 – CSR-kompetitivne, stres, ruderalne), životni oblik (1 i 2 – fanerofiti, 3 i 4 – hamefiti, 5 – hemikriptofiti, 6 – geofiti, 7 – terofiti).

LATINSKI NAZIV VRSTE	HR. NAZIV	L	T	K	F	R	N	S	CSR	RASPROSTRANJENOST (Areal)	ŽIVOTNI OBLIK
<i>Abies alba</i> Mill.	jela	3	5	4				0	1	D - američka (0), H - subatlantska (0)	1
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	šumska bujadika	3		3	7		6	0	1/5	B - predalpska (0), E - arktička (0), M - kontinentalna (0), Z - montana (0)	5
<i>Cardamine bulbifera</i> (L.) Crantz	lukovičasta režuha	3	5	4	5	7	6	0	7	D - američka (0), F - azijska (2), H - subatlantska (1)	6
<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray	velika paprat	4		3	6		7	0	5/7	B - predalpska (0), E - arktička (0)	5
<i>Fagus sylvatica</i> L.	bukva	3	5	2	5			0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	mirisna lazarkinja	2	5	2	5	6	5	0	2	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	5
<i>Gentiana asclepiadea</i> L.	šumski srčanik	7		4	6	7	2	0		D - američka (1)	5
<i>Hedera helix</i> L.	bršljan	4	5	2	5			0	5	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1/3
<i>Hieracium lachenalii</i> C.C.Gmel.	obična runjika	5	5		4	4	2	0	5	E - arktička (0), M - kontinentalna (0)	5
<i>Lunaria rediviva</i> L.	srebrenka	4	5	4	6	7	8	0	1	D - američka (0)	5
<i>Luzula luzuloides</i> (Lam.) Dandy et Wilmott	bjelkasta bekica	4		4	5	3	4	0	7	E - arktička	5
<i>Oxalis acetosella</i> L.	šumski cecelj	1		3	5	4	6	0	7	B - predalpska (0), E - arktička (0), Z - montana (0)	6
<i>Prenanthes purpurea</i> L.	crvena gorčika	4	4	4	5	5	5	0	5	E - arktička (2)	5
<i>Rubus caesius</i> L.	modrosiva kupina	6	5	4		8	7		1	E - arktička (0), H - subatlantska (0), M - kontinentalna (0)	3

Tablica 5: prikaz biljnih vrsta s florističkim značajkama zabilježenih na petoj plohi, u srednje staroj sastojini zajednice *Lamio orvale-Fagetum sylvaticae*. Ellenbergove indikatorske vrijednosti (L – svjetlost, T – temperatura, K – kontinentalnost, F – vlaga, R – kiselost, N – dušik, S – salinitet), CSR strategije (1 – kompetitivne, 2 – stres tolerantne, 3 – ruderalne, 4 – kompetitivne ruderalne, 5 – kompetitivne stres tolerantne, 6 – ruderalne stres tolerantne, 7 – CSR-kompetitivne, stres, ruderalne), životni oblik (1 i 2 – fanerofiti, 3 i 4 – hamefiti, 5 – hemikriptofiti, 6 – geofiti, 7 – terofiti).

LATINSKI NAZIV VRSTE	HR. NAZIV	L	T	K	F	R	N	S	CSR	RASPROSTRANJENOST (Areal)	ŽIVOTNI OBLIK
<i>Acer platanoides</i> L.	javor mliječ	4	6	4				0	1	F - azijska (2)	1
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	gorski javor	4		4	6		7	0	1	D - američka (0), H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Aconitum lycoctonum</i> L. <i>ssp. vulparia</i> (Reichenb.) Nyman	žuti jedić	3	4	4	7	7	8	0		D - američka (0)	5
<i>Anemone nemorosa</i> L.	bijela šumarica			3	5			0	7	E - arktička (2)	6
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	šumska krasuljica	7		5	5		8	0	1	B - predalpska (0), E - arktička (2)	5
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	šumska bujadika	3		3	7		6	0	1/5	B - predalpska (0), E - arktička (0), M - kontinentalna (0), Z - montana (0)	5
<i>Cardamine bulbifera</i> (L.) Crantz	lukovičasta režuha	3	5	4	5	7	6	0	7	D - američka (0), F-azijska (2), H-subatlantska (1)	6
<i>Cardamine enneaphyllos</i> (L.) Crantz	devetolisna režuha	4	4	4	5	7	7	0	7	D - američka (0)	6
<i>Carex sylvatica</i> Huds.	šumski šaš	2	5	3	5	6	5	0	7	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	5
<i>Carpinus betulus</i> L.	obični grab	4	6	4				0	1	F - azijska (2)	1
<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.	šumska ciklama	4	6	4	5	9	5	0		D - američka (1)	6
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	šumska paprat	3		3	5	5	6	0	5	E - arktička (2), H - subatlantska (0), Z - montana (0)	5
<i>Euphorbia amygdaloides</i> L.	bademasta mliječika	4	5	3	5	8	5	0	5	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	4

<i>Fagus sylvatica</i> L.	bukva	3	5	2	5			0	1	H - subatlantska (0), J-euroazijska (0)	1
<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	mirisna lazarkinja	2	5	2	5	6	5	0	2	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	5
<i>Hacquetia epipactis</i> (Scop.) DC.	šumsko volujsko oko										5
<i>Lamium galeobdolon</i> (L.) L.	žuta mrtva kopriava	3	5	4	5	7	5	0	2/5	F - azijska (2)	5
<i>Lilium martagon</i> L.	zlatan	4		5	5	7	5	0	7	E - arktička (0), F - azijska (0), H - subatlantska (0)	6
<i>Mercurialis perennis</i> L.	višegodišnji prosinac	2		3		8	7	0	5	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	6
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort.	zidna salatika	4	6	2	5		6	0	7	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	5
<i>Oxalis acetosella</i> L.	šumski cecelj	1		3	5	4	6	0	7	B - predalpska (0), E - arktička (0), Z - montana (0)	6
<i>Paris quadrifolia</i> L.	četverolisni petrov križ	3		4	6	7	7	0	7	B - predalpska (0), E - arktička (0), M - kontinentalna (0)	5
<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	mnogocvjetni Salamunov pečat	2		5	5	6	5	0	7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Prenanthes purpurea</i> L.	crvena gorčika	4	4	4	5	5	5	0	5	E-arktička(2)	5
<i>Rubus caesius</i> L.	modrosiva kupina	6	5	4		8	7		1	E - arktička (0), H - subatlantska (0), M - kontinentalna (0)	3

Tablica 6: prikaz biljnih vrsta s florističkim značajkama zabilježenih na šestoj plohi, u staroj sastojini zajednice *Luzulo-Fagetum sylvaticae*. Ellenbergove indikatorske vrijednosti (L – svjetlost, T – temperatura, K – kontinentalnost, F – vlaga, R – kiselost, N – dušik, S – salinitet), CSR strategije (1 – kompetitivne, 2 – stres tolerantne, 3 – ruderalne, 4 – kompetitivne ruderalne, 5 – kompetitivne stres tolerantne, 6 – ruderalne stres tolerantne, 7 – CSR-kompetitivne, stres, ruderalne), životni oblik (1 i 2 – fanerofiti, 3 i 4 – hamefiti, 5 – hemikriptofiti, 6 – geofiti, 7 – terofiti).

LATINSKI NAZIV VRSTE	HR. NAZIV	L	T	K	F	R	N	S	CSR	RASPROSTRANJENOST (Areal)	ŽIVOTNI OBLIK
<i>Abies alba</i> Mill.	jela	3	5	4				0	1	D - američka (0), H - subatlantska (0)	1
<i>Athyrium filix- femina</i> (L.) Roth	šumska bujadika	3		3	7		6	0	1/5	B - predalpska (0), E - arktička (0), M - kontinentalna (0), Z - montana (0)	5
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	obični vrijes	8		3		1	1	0	5	B - predalpska (0), E - arktička (2)	3
<i>Castanea sativa</i> Miller	pitomi kesten								5		
<i>Fagus sylvatica</i> L.	bukva	3	5	2	5			0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Festuca altissima</i> All.	šumska vlasulja	3	5	3	5	4	6	0	5	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	5
<i>Hieracium murorum</i> L.	šumska runjika	4		3	5	5	4	0	2/7	B - predalpska (0), E - arktička (0)	5
<i>Luzula luzuloides</i> (Lam.) Dandy et Wilmott	bjelkasta bekica	4		4	5	3	4	0	7	E - arktička	5
<i>Melampyrum pratense</i> L.	livadna urodica			3		3	2	0	6	B - predalpska (0), E - arktička (2)	7
<i>Prenanthes purpurea</i> L.	crvena gorčika	4	4	4	5	5	5	0	5	E - arktička (2)	5
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	obična bujad	6	5	3	6	3	3	0	1	B - predalpska (0), E - arktička (0)	6
<i>Quercus petraea</i> (Mattuschka) Liebl.	hrast kitnjak	6	6	2	5					H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz	brašnava oskoruša	6	5	2	4	7	3			D - američka (0), H - subatlantska (0)	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	obična borovnica	5		5		2	3	0	5	A - alpska(0), B - predalpska(0), E - arktička(2)	3

Tablica 7: prikaz biljnih vrsta s florističkim značajkama zabilježenih na sedmoj plohi, u staroj sastojini zajednice *Lamio orvale-Fagetum sylvaticae*. Ellenbergove indikatorske vrijednosti (L – svjetlost, T – temperatura, K – kontinentalnost, F – vlaga, R – kiselost, N – dušik, S – salinitet), CSR strategije (1 – kompetitivne, 2 – stres tolerantne, 3 – ruderalne, 4 – kompetitivne ruderalne, 5 – kompetitivne stres tolerantne, 6 – ruderalne stres tolerantne, 7 – CSR-kompetitivne, stres, ruderalne), životni oblik (1 i 2 – fanerofiti, 3 i 4 – hamefiti, 5 – hemikriptofiti, 6 – geofiti, 7 – terofiti).

LATINSKI NAZIV VRSTE	HR. NAZIV	L	T	K	F	R	N	S	CSR	RASPROSTRANJENOST (Areal)	ŽIVOTNI OBLIK
<i>Abies alba</i> Mill.	jela	3	5	4				0	1	D - američka (0), H - subatlantska (0)	1
<i>Acer platanoides</i> L.	javor mliječ	4	6	4				0	1	F - azijska (2)	1
<i>Aconitum lycoctonum</i> L. <i>ssp. vulparia</i> (Reichenb.) Nyman	žuti jedić	3	4	4	7	7	8	0		D - američka (0)	5
<i>Actaea spicata</i> L.	klasasta habulica	3	5	4	5	6	7	0	5	B - predalpska (0), E - arktička (2)	5
<i>Anemone nemorosa</i> L.	bijela šumarica			3	5			0	7	E - arktička (2)	6
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	šumska krasuljica	7		5	5		8	0	1	B - predalpska (0), E - arktička (2)	5
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	šumska bujadika	3		3	7		6	0	1/5	B - predalpska (0), E - arktička (0), M - kontinentalna (0), Z - montana (0)	5
<i>Cardamine enneaphyllos</i> (L.) Crantz	devetolisna režuha	4	4	4	5	7	7	0	7	D - američka (0)	6
<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.	šumska ciklama	4	6	4	5	9	5	0		D - američka (1)	6
<i>Daphne mezereum</i> L.	obični likovac	4		4	5	7	5	0	5	E - arktička (0), F - azijska (0)	2
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	šumska paprat	3		3	5	5	6	0	5	E - arktička (2), H - subatlantska (0), Z - montana (0)	5
<i>Epilobium montanum</i> L.	gorska vrbolika	4		3	5	6	6	0	5	B - predalpska (0), E - arktička (2)	4
<i>Fagus sylvatica</i> L.	bukva	3	5	2	5			0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska(0)	1
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	bijeli jasen	4	5	3		7	7	0	1	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	1
<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	mirisna lazarkinja	2	5	2	5	6	5	0	2	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	5



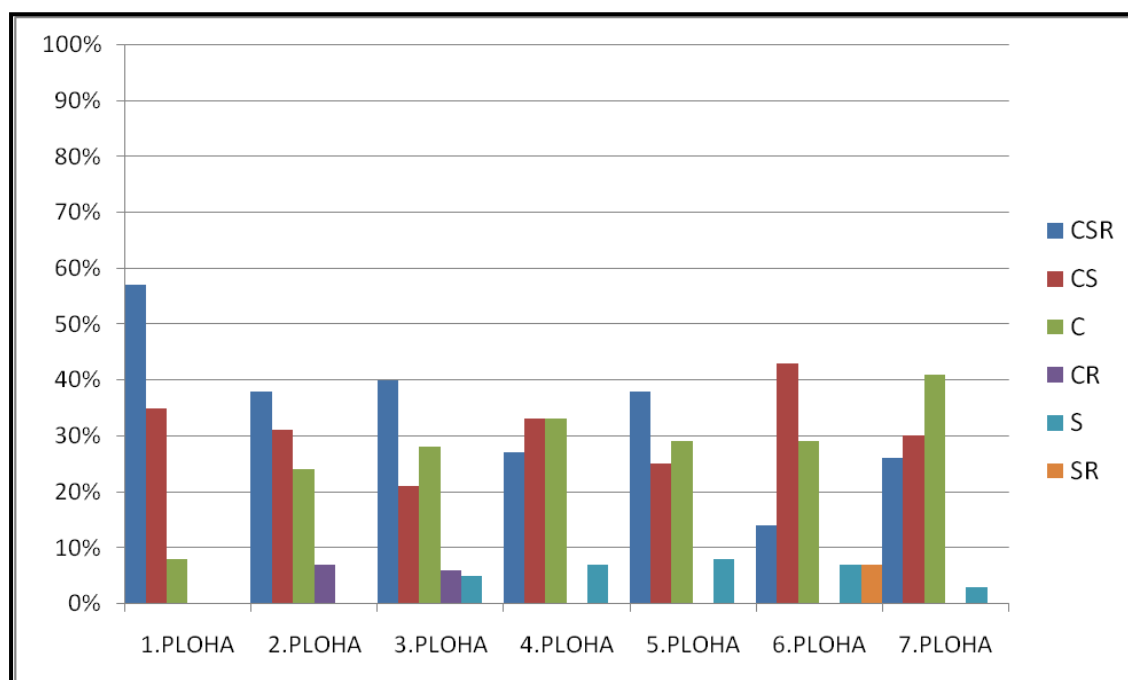
<i>Gentiana asclepiadea</i> L.	šumski srčanik	7		4	6	7	2	0		D-američka (1)	5
<i>Geranium robertianum</i> L.	smrdljiva iglica	5		3			7	0	7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	7
<i>Heracleum sphondylium</i> L.	livadna šapika	7	5	2	5		8	0	1	J - euroazijska (0)	5
<i>Lilium martagon</i> L.	zlatan	4		5	5	7	5	0	7	E - arktička (0), F - azijska (0), H - subatlantska (0)	6
<i>Lunaria rediviva</i> L.	srebrnka	4	5	4	6	7	8	0	1	D - američka (0)	5
<i>Mercurialis perennis</i> L.	višegodišnji prosinac	2		3		8	7	0	5	H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	6
<i>Milium effusum</i> L.	šumska prosulja	4		3	5	5	5	0	5	E - arktička (2), Z - montana (0)	5
<i>Oxalis acetosella</i> L.	šumski cecelj	1		3	5	4	6	0	7	B - predalpska (0), E - arktička (0), Z - montana (0)	6
<i>Paris quadrifolia</i> L.	četverolisni petrov križ	3		4	6	7	7	0	7	B - predalpska (0), E - arktička (0), M - kontinentalna(0)	6
<i>Petasites albus</i> (L.) Gaertn.	bijeli lopuh	4	4	4	6		5	0	1	D - američka (0), H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	6
<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	mnogocvjetni Salamunov pečat	2		5	5	6	5	0	7	E - arktička (2), H - subatlantska (0)	6
<i>Scrophularia nodosa</i> L.	čvorasti strupnik	4	5	3	6	6	7	0	5	E - arktička (2)	5
<i>Senecio ovatus</i> (P.Gaertn., B.Mey. et Scherb.) Willd.	kostruš	7		4	5		8	0	1	D - američka (0), H - subatlantska (0), J - euroazijska (0)	5
<i>Urtica dioica</i> L.	dvodomna kopriva				6	7	8	0	1	B - predalpska (0), E - arktička (0)	5

Tablica 8 prikazuje aritmetičke sredine Ellenbergovih indikatorskih vrijednosti po pojedinoj plohi.

Tablica 8: prikaz aritmetičkih sredina Ellenbergovih indeksa po pojedinim ploham.

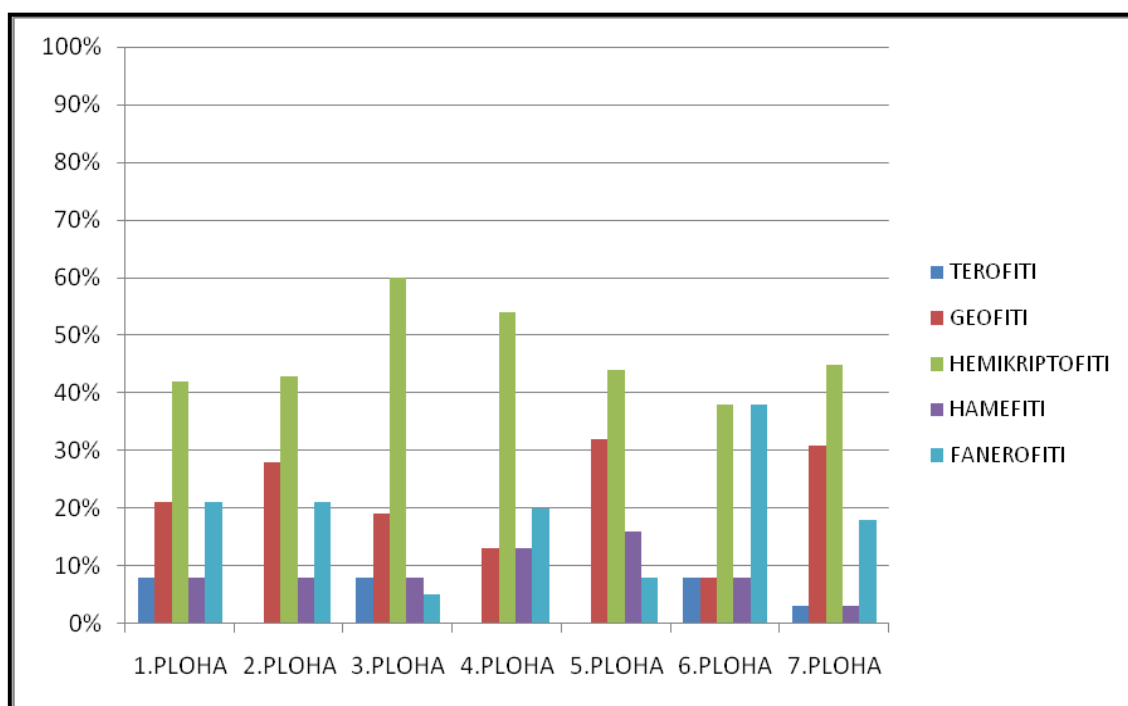
	1. PLOHA	2. PLOHA	3. PLOHA	4. PLOHA	5. PLOHA	6. PLOHA	7. PLOHA
SVJETLOST	4,5	4,92	4,91	3,79	3,43	4,58	3,89
TEMPERATURA	4,92	5,14	5,11	4,89	5,07	5	4,92
KONTINENTALNOST	3,56	3,55	3,51	3,31	3,58	3,15	3,54
VLAŽNOST	5	5	5,29	5,33	5,3	5,22	5,42
PH	5,46	6,25	6,57	5,67	6,69	3,67	6,53
DUŠIK	3,8	4,89	5,89	5,27	6,05	3,7	6,32
SALINITET	0	0	0	0	0	0	0

Slika 7 prikazuje udjele CSR strategija po pojedinim ploham.



Slika 7: prikaz udjela CSR strategija po pojedinim ploham. CSR - biljke koje imaju kombinaciju svih triju strategija, C – konkurentne, CS - konkurentne stres tolerantne, CR - konkurentne ruderalne, S - stres tolerantne, SR – stres ruderalna strategija.

Na slici 8 su prikazani udjeli životnih oblika na pojedinim plohama. Već pri prvom pogledu je vidljivo da na svim plohama dominiraju hemikriptofiti, biljke koje nepovoljni dio godine preživljavaju trajnim dijelovima pri samoj podlozi.



Slika 8: prikaz zastupljenosti životnih oblika po pojedinim plohama. Terofiti – biljke koje nepovoljni dio godine preživljavaju u obliku sjemena, geofiti – preživljavaju ispod površine tla, hemikriptofiti – preživljavaju trajnim dijelovima pri samoj podlozi, hamefiti – preživljavaju pupovima na visini do 25cm od tla, zaštićeni snijegom, fanerofiti – drveće i grmlje s pupovima na visini većoj od 25cm od tla.

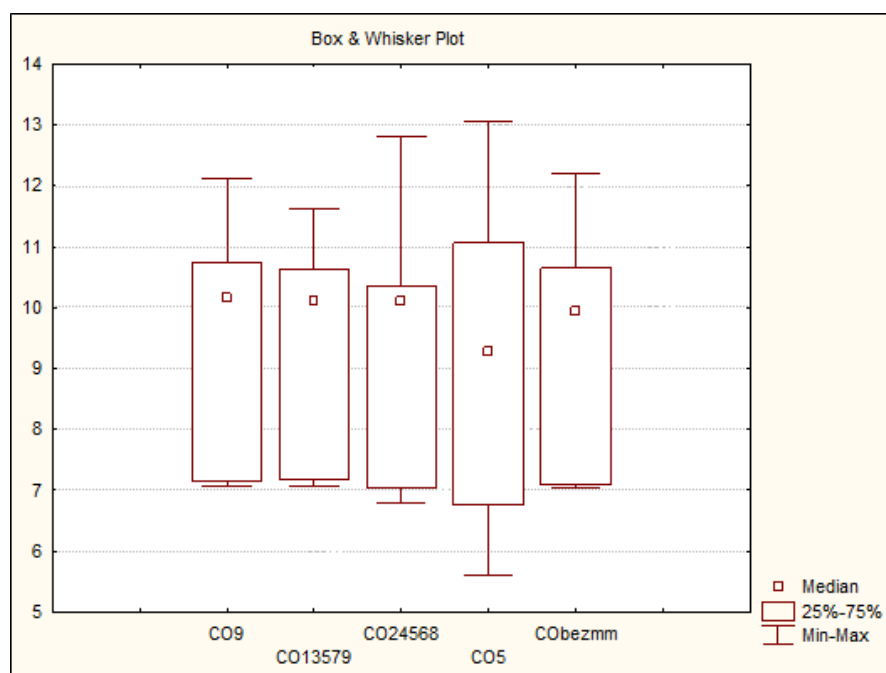
### 3.2. Sklop krošnji

U tablici 9 su prikazani rezultati mjerenja sklopa krošnji i indeksa lisne površine pomoću hemisferne fotografije.

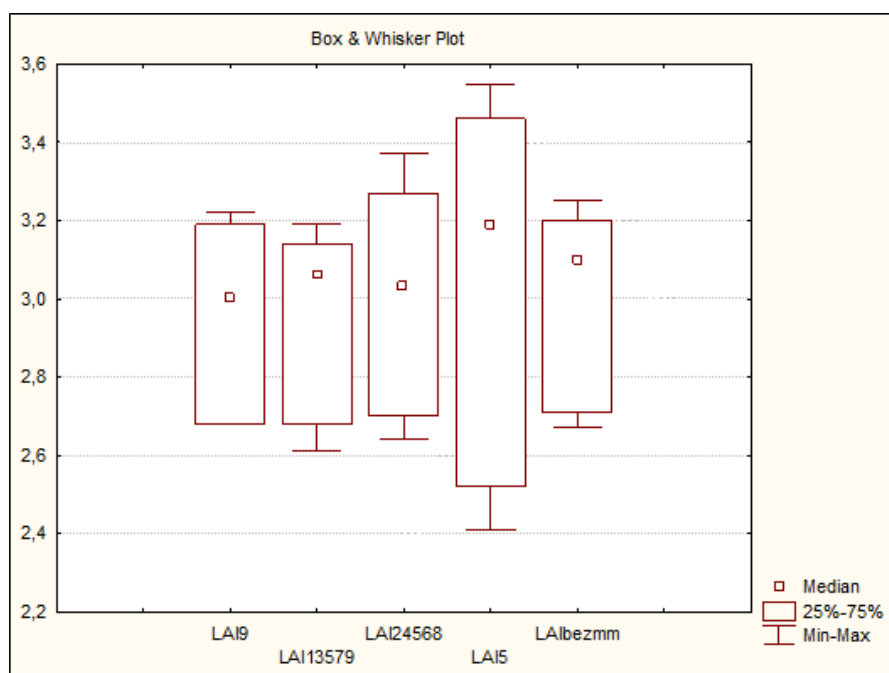
Tablica 9: prikaz rezultata pet načina srednjih vrijednosti mjerenja otvorenosti sklopa krošnje i indeksa lisne površine (LAI4Ring) pomoću hemisferne fotografije. Oznake za vrijednosti otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine opisane su pod slikom 5 (str. 13) te u metodama analize značajki krošnji.

	1. PLOHA	2. PLOHA	3. PLOHA	4. PLOHA	5. PLOHA	6. PLOHA	7. PLOHA
CO9	7,07	7,14	9,07	12,12	10,15	10,74	10,2
CO13579	7,07	7,17	9,68	11,62	10,39	10,62	10,1
CO24568	6,78	7,04	8,49	12,81	10,1	10,21	10,36
CO5	5,59	6,75	9,27	13,07	11,07	7,48	10,56
CO bez min. i max.	7,09	7,05	9,14	12,19	10,33	10,65	9,92
LAI9	3,19	3,15	3,22	2,81	2,68	3	2,68
LAI13579	3,19	3,14	3,07	2,92	2,61	3,06	2,68
LAI24568	3,27	3,17	3,37	2,7	2,71	3,03	2,64
LAI5	3,55	3,19	3,23	2,79	2,41	3,46	2,52
LAI bez min. i max.	3,2	3,16	3,25	2,8	2,67	3,1	2,71

Raspon podataka izmjerenih vrijednosti prikazan je Box-Whisker prikazom (Slika 9 i 10). Vrijednosti središnje točke na plohi (CO5 i LAI5) se ističu većim rasponom podataka u odnosu na ostale pa preporučam korištenje većeg broja fotografija, posebno kada svjetlosni uvjeti na terenu nisu idealni.



Slika 9: Box-Whisker prikaz raspona podataka srednjih vrijednosti otvorenosti krošnje s medijanima i kvartilima. Raspon vrijednosti središnje točke na plohi (CO5) se ističe. Oznake kao na Slici 5 (str. 13).



Slika 10: Box-Whisker prikaz raspona srednjih vrijednosti indeksa lisne površine s medijanima i kvartilima. Raspon vrijednost središnje točke na plohi (LAI5) se ističe u odnosu na ostale. Oznake kao na Slici 5 (str. 13).

### 3.3. Mjerenje pH tla

Podaci dobiveni mjerenjem pH tla pomoću destilirane vode i 0.1M otopine KCl nalaze se u tablici 10. Rezultati pokazuju da se Medvednica nalazi na kiseljoj podlozi, što dokazuju i indikatori kiselih tala poput vrste *Luzula luzuloides* (Lam.) Dandy et Wilmott, *Vaccinium myrtillus* L., *Castanea sativa* Miller i drugih.

Tablica 10: rezultati mjerenja aktualnog aciditeta (pomoću vode) i supstitucijskog aciditeta (pomoću 0.1M otopine KCl).

PLOHA	H <sub>2</sub> O	otop. 0.1M KCl
1.	4,358	3,326
2.	4,903	3,790
3.	4,971	4,221
4.	3,962	3,024
5.	4,190	3,442
6.	4,033	3,305
7.	5,031	4,420

### 3.4. Linearna koreliranost značajki florističkog sastava sa sklopom krošnji

#### Svjetlost, temperatura i broj vrsta na pojedinoj plohi

Testovima korelacije otvorenosti krošnje sa svjetlošću, temperaturom i brojem vrsta nisam dobio statistički značajne vrijednosti. Iz toga možemo zaključiti kako svjetlost nije dominantan čimbenik koji utječe na prizemnu floru u bukovim šumama Medvednice.

### Indeks lisne površine (LAI4 Ring)

U tablici 11 prikazani su korelacijski koeficijenti otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine. Sukladno očekivanjima, ustanovljene korelacije su negativne, iako ne uvijek uz razinu statističke značajnosti od  $P < 0,05$ . Statistički značajni koeficijenti korelacije pokazuju da se s otvorenošću krošnje smanjuje indeks lisne površine, što je sukladno očekivanjima.

Tablica 11: prikaz koeficijenata korelacije otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine. Masnim slovima su označene statistički značajne vrijednosti. Oznake za vrijednosti otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine kao na slici 5 (str. 13).

	LAI9	LAI13579	LAI24568	LAI5	LAI bez min. i max.
CO9	<b>-0,691</b>				
CO13579		-0,592			
CO24568			<b>-0,783</b>		
CO5				<b>-0,804</b>	
CO bez min. i max.					-0,635

### Kiselost

Test korelacije pH tla s Ellenbergovim indikatorskim vrijednostima pokazuje pozitivnu koreliranost

pH(H<sub>2</sub>O) vs. Ellenberg pH,  $r = 0,60$

pH(KCl) vs. Ellenberg pH,  $r = 0,55$

no ispod razine statističke značajnosti  $P = 0,05$ .

### 3.5. ***Friedman ANOVA suma rangova za srednje vrijednosti otvorenosti krošnje i indeksa lisne površine***

Friedman ANOVA testom sume rangova nisam ustanovio statistički značajnu razliku među vrijednostima otvorenosti sklopa krošnji (Tablica 12) te indeksa lisne površine (Tablica 13) dobivenih različitim setovima fotografija.

Tablica 12: Rezultati Friedman ANOVA testa za srednje vrijednosti otvorenosti krošnje  $\chi^2$  (N=7, df=4) = 1,928, p < 0,749; Koef. konk. = 0,069, prosječni rang r = - 0,086

Varijabla	Prosječni rang	Suma rangova	Sr. vrijednost	St. devijacija
CO9	3,07	21,5	9,49	1,86
CO13579	3,35	23,5	9,52	1,74
CO12468	2,28	16	9,39	2,11
CO5	3,14	22	9,11	2,65
CObezmm	3,14	22	9,48	1,88

Tablica 13: Rezultati ANOVA testa za srednje vrijednosti indeksa lisne površine  $\chi^2$  (N=7, df=4) = 2,667, p < 0,615; Koef. konk. = 0,095, prosječni rang r = - 0,056

Varijabla	Prosječni rang	Suma rangova	Sr. vrijednost	St. devijacija
LAI9	2,57	18	2,96	0,23
LAI13579	2,42	17	2,95	0,22
LAI2468	3,28	23	2,98	0,3
LAI5	3,14	22	3,02	0,45
LAIbezmm	3,57	25	2,98	0,24



## 4. Rasprava

Dobiveni rezultati nisu potvrdili polaznu hipotezu da će se u sastojinama otvorenijeg sklopa krošnji, kao posljedica više svjetla u prizemnom sloju povećavati broj biljnih vrsta u istraživanim bukovim šumama na području Medvednice. Uzrok tome može biti neki drugi dominantniji okolišni čimbenik čiju varijabilnost nisam prikladno obuhvatio postavljenim ploham, o čemu će biti riječi kasnije, kao i svjetlosni uvjeti prisutni prilikom snimanja hemisfernih fotografija. Fotografije sam snimao tijekom cijelog dana, pritom izbjegavajući izravnu sunčevu svjetlost koja zasljepljuje leću i stvara odbljesak na slici koji utječe na rezultate obrade fotografija. Rezultati dobiveni obradom hemisferne fotografije bi zasigurno bili nešto kvalitetniji i konzistentniji da sam snimao u idealnim uvjetima, no oni su vrlo rijetki tijekom dana i zahtijevaju duži vremenski period za obavljanje ovakvog istraživanja. No, s obzirom na veći broj fotografija koje sam napravio na svakoj plohi, i rezultate Friedman ANOVE, dobivene rezultate smatram reprezentativnim.

Odstupanje od polazne pretpostavke, osim na razini ukupnog broja vrsta nalazim i ako razmotrim floristički sastav u prizemnom sloju te njihove pripadajuće Ellenbergove vrijednosti za svjetlost. Očekivao sam da će na ploham koje imaju veću otvorenost krošnje, uz uobičajene biljne vrste za tu zajednicu, biti prisutne i vrste koje imaju veću vrijednost za svjetlost. Primjerice, šesta ploha ima veću otvorenost krošnje, no nije bogatija vrstama koje imaju veći indeks za svjetlost. To možemo objasniti činjenicom da je na toj plohi prisutna vrsta *Vaccinium myrtillus* (borovnica), grmolika vrsta koja je vrlo raširena i svojim habitusom zasjenjuje površinu zemlje te ne dopušta drugim vrstama da niknu iz zemlje. Na drugim ploham nađene su slične vrste kao i u drugim istraživanjima (Galhidy i sur. 2006). Na ploham prevladavaju biljke CSR tipa strategije, zatim CS i C tipa strategije formiranja zajednica. To pokazuje prilagođenost vrsta na različite uvjete, od kompetitivnih do stresnih. Što se životnih oblika tiče, prevladavaju hemikriptofiti, vrste koje nepovoljni dio godine preživljavaju trajnim dijelovima pri samoj podlozi. Također su brojni i geofiti, biljne vrste koje nepovoljni dio godine preživljavaju ispod zemlje, u obliku lukovice, gomolja ili podanka (rizoma). Kako su neka istraživanja potvrdila da biljke svoju

prostornu dinamiku pomiču prema prostornoj dinamici otvora iz kojeg dopiru veće količine svjetlosti (Rankin i Tramer 2002) bilo bi zanimljivo pratiti dolaze li u takvim uvjetima vrste koje imaju veće vrijednosti za svjetlost. K tome, biljke se unutar same plohe ponašaju vrlo različito, ovisno o njihovom položaju prema otvoru krošnje. Tako primjerice vrsta *Scrophularia nodosa* preferira vrlo osvijetljen položaj, kao i vrste poput *Epilobium montanum* i *Urtica dioica* koje zauzimaju plohu ispod samog otvora krošnje (Galhidy i sur. 2006). Neki autori, poput Collinsa i Piceketa (1987, 1988, iz Galhidy i sur. 2006), zaključuju da krošnja nema nikakav utjecaj na prizemni sloj biljaka, dok neki autori navode kako geometrija krune krošnje jako utječe na prostornu raspodjelu sunčeve svjetlosti (Canham i sur. 1994) pa bi bilo zanimljivo proučiti na koji način geometrija krune krošnje utječe na biljne vrste u našem slučaju. Visina krošnje također može utjecati na količinu svjetlosti koja dopire do prizemnog sloja, jer je kod viših krošnji omogućeno dopiranje svjetlosti s bočnih strana (Clark i sur. 1996). Mnoga istraživanja potvrđuju utjecaj sklopa krošnje na prizemni sloj (Siebernagel i Moeur 2001, Rankin i Tramer 2002, Jelaska 2004, Jelaska i sur. 2006), no neka favoriziraju značajniji utjecaj vlage zraka i vlažnosti tla (Härdtle i sur. 2003, Leuchner i Lenzion 2009,) koja nisam pratio u ovom istraživanju, pa nije moguće procijeniti u kojoj mjeri su bitni za razvoj prizemne flore u istraživanim šumama.

Istaknuo bih kako neki radovi potvrđuju rezultate dobivene i u ovom istraživanju, naime kako faktor svjetlosti u bukovim šumama zapravo nema dominantan utjecaj na bogatstvo vrsta, jer su krošnje dosta zatvorene pa biljke razvojni ciklus završavaju prije nego se krošnja potpuno zatvori (Härdtle i sur. 2003).

Nema statistički značajne razlike da li za neku šumsku plohu površine kao u ovom istraživanju (900 m<sup>2</sup>) prikupljamo fotografiju snimljenu u sredini plohe ili njihov veći broj, no zbog većeg raspona vrijednosti kod korištenja samo središnje fotografije, preporučam korištenje većeg broja fotografija, posebice ako se istraživanje provodi kada svjetlosni uvjeti nisu idealni.

Ovo istraživanje uključuje tri zajednice bukovih šuma, sedam istraživanih ploha, od čega su po tri plohe prisutne u dvije zajednice koje se klimatski ne razlikuju, već je u njima osnovna determinanta kiselost matične podloge. Pozitivna korelacija otvorenijih

krošnji i broja vrsta je izostala. Uzrok toga je vjerojatno povećano zakiseljavanje tla na površinama koje se nalaze ispod otvorenije krošnje. Istraživanje poput onog kojeg su proveli Cronan i Reiners (1983) pokazuju kako pri obilnijim padalinama dolazi do znatnijeg zakiseljavanja tla. Kod otvorenijih krošnji, za koje sam očekivao da će zbog veće količine svjetlosti biti bogatije biljnim vrstama, zakiseljavanje je intenzivnije jer se zbog otvorenije krošnje oborine u manjoj mjeri zadržavaju u krošnji, a broj vrsta je manji. Kod zatvorenijih krošnji, kiselost ( $H^+$  ioni) koja potječe iz oborina ili transpiracije biljaka se neutralizira preko površine lista te nastaju neutralne soli koje obogaćuju tlo (Cronan i Reiners 1983). Neutralizacija kiselosti u bjelogoričnim šumama je posebno izražena u vrijeme starenja listova kada dolazi do značajnog porasta ispiranja kalija i lužina iz krošnje (Cronan i Reiners 1983). Iz toga je jasno da je zakiseljavanje tla mnogo veće kod otvorenijih krošnji (više svjetlosti), a time je i broj vrsta u prizemnom sloju manji. Stoga buduća istraživanja treba postaviti u uvjetima kontrolirane vrijednosti pH podloge da se isključi utjecaj varijabilnosti čimbenika koji je očito dominantan u odnosu na svjetlost. Nadalje treba povećati broj istraživanih ploha u sastojinama različite starosti jednodobno gospodarenih bukovih šuma.

## 5. Zaključak

Utjecaj sklopa krošnji na prizemni sloj bukovih šuma na Medvednici očituje se u prvom redu u pretpostavljenom većem oborinskom zakiseljavanju pedosfere u sastojinama otvorenijeg sklopa krošnje.

Na prostornoj razini uobičajenih površina korištenih u istraživanju šumske vegetacije, na razini sastojine, nema statistički značajnih razlika u procjeni otvorenosti sklopa krošnji u ovisnosti o broju korištenih hemisfernih fotografija. Unatoč tome preporučam korištenje više od jedne fotografije, naročito ako se snimanje ne provodi u idealnim svjetlosnim uvjetima.

Da bi se ustanovio utjecaj svjetlosnih uvjeta na prizemni sloj bukovih šuma potrebno je provesti istraživanje na većem uzorku, stratificiranom prema vrijednosti pH, gdje bi bio obuhvaćen i analiziran veći broj ploha u sastojinama različite starosti samo unutar šuma bukve s velikom mrtvom koprivom, te isto tako u šumama bukve s bekicom.

## 6. Literatura

- Anonymus (2005): Park prirode Medvednica, <http://www.pp-medvednica.hr> (27.7.2010.).
- Grime, J.P. (1979): *Plant Strategies and Vegetation Processes*. John Wiley & Sons, Chichester-New York-Brisbane-Toronto.
- Canham, C. D., Finzi, A.C., Pacala, S. W., Burbank, D. H. (1994): Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Can. J. For. Res.* 24: 337-349.
- Chen, J., Franklin, J. F. (1997): Growing-season microclimate variability within an old-growth Douglas-fir forest, *Clim Res* 8: 21-34.
- Chen, J., Saunders, S. C., Crow, T. R., Naiman, R. J., Broszofske, K. D., Mroz, G. D., Brookshire, B. L., Franklin, J. F. (1999): Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology. Variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience* 49: 288-297.
- Clark, D. B., Clark, D. A., Rich, P. M., Weiss, S., Oberbauer, S. F. (1996): Landscape-scale evaluation of understory light and canopy structure: methods and application in a neotropical lowland rain forest, *Can. J. For. Res.* 26: 747-757.
- Cronan, C. S., Reiners. W. A. (1983): Canopy processing of acidic precipitation by coniferous and hardwood forests in New England.
- Dobrović, I., Nikolić, T., Jelaska, S. D., Plazibat, M., Hršak, V., Šoštarić, R. (2006): An evaluation of floristic diversity in Medvednica Nature Park (northwestern Croatia), *Plant Biosystems* 140: 234-244.
- Domac, R. (2002): *Flora Hrvatske, Priručnik za određivanje bilja*, 2. izd., Školska knjiga, Zagreb.
- Evans, G.D., D.E. Coombe (1959): Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *Journal of Ecology* 47: 103-113.

- Frazer, G. W., Canham, C. D., Lertzman, K. P. (1999): Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from truecolour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, 36 pp.
- Galhidy, L., Mihok, B., Hagyó, A., Rajkai, K., Standovár, T. (2006): Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understorey vegetation of a Hungarian beech forest, *Plant Ecology* 183: 133-145.
- Gamst, G., Meyers, L. S., Guarino, A. J. (2008): Analysis of Variance Designs, A Conceptual and Computational Approach with SPSS and SAS, Cambridge University Press.
- Gračanin, M., Ilijanić, Lj. (1977): Uvod u ekologiju bilja. Školska knjiga, Zagreb.
- Härdtle, W., von Oheimb, G., Westphal, C. (2003): The effects of light and soil conditions on the species richness of the ground vegetation of deciduous forests in northern Germany (Schleswig-Holstein), *Forest Ecology and Management* 182: 327-338
- Hill, R. (1924): A lens for whole sky photographs, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 50: 227-235.
- Holeska, J. (2003): Relationship between field-layer vegetation and canopy openings in a Carpathian subalpine spruce forest, *Plant Ecology* 168: 57-67.
- Jarčuška, B., (2008): Methodical overview to hemispherical photography, demonstrated on an example of the software GLA. *Folia oecol.* 35: 66-69.
- Jelaska, S.D. (2004): Analysis of canopy closure in the Dinaric silver fir - beech forests (*Omphalodo-Fagetum*) in Croatia using hemispherical photography, *Hacquetia* 3/2: 43-49.

- Jelaska, S. D., AntoniĆ, O., BoŹić, M., KriŹan, J., KuŹan, V. (2006): Responses of forest herbs to available understory light measured with hemispherical photographs in silver fir–beech forest in Croatia, *Ecological modeling* 194: 209-218.
- Klinka, K., Chen, H. Y. H., Wang, Q., de Montigny, L. (1996): Forest Canopies and Their Influence on Understory Vegetation in Early-Seral Stands on West Vancouver Island, *Northwest Science* 70: 193-200.
- Legendre, P., Legendre, L. (1998): *Numerical Ecology*, Second English edition, Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- Leuchner, C., Lenzion, J. (2009): Air humidity, soil moisture and soil chemistry as determinants of the herb layer composition in European beech forests, *Journal of Vegetation Science* 20: 288-298.
- Lhotka, J. M., Loewenstein, E. F. (2008): Influence of canopy structure on the survival and growth of underplanted seedlings, *New Forests* 35: 89-104.
- Lysik, M. (2008): Ten years of change in ground-layer vegetation of European beech forest in the protected area (OJCÓW NATIONAL PARK, SOUTH POLAND), *polish Journal of Ecology* 56: 17-31.
- Matić, S. (2003): *Obična bukva u Hrvatskoj*, Hrvatske Źume, Grad Zagreb, Akademija Źumarskih znanosti, Zagreb.
- Nikolić, T. ur. (2010): *Flora Croatica Database* (<http://hirc.botanic.hr/fcd>). Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Nikolić, T., Kovačić, S. (2008): *Flora Medvednice*, Źkolska knjiga, Zagreb.
- Ostrogović, M. Z., Sever, K., Anić, I. (2010): Utjecaj svjetla na prirodno pomlađivanje hrasta luŹnjaka u Park-Źumi Maksimir u Zagrebu, *Źumarski list* br. 3-4: 115-123.
- Rankin, W. T., Tramer, E. J. (2002): Understory succession and the gap regeneration cycle in a *Tsuga canadensis* forest, *Canadian Journal of Forest Research* 32: 16-23.

- Rothmaler, W. (2000): Excursionsflora von Deutschland, Spektrum akademischer Verlag, Berlin.
- Roxburgh, J. R., Kelly, D. (1995): Uses and limitations of hemispherical photography for estimating forest light environments, New Zealand Journal of Ecology 19: 213-217.
- Silbernagel, J., Moeur, M. (2001): Modeling canopy openness and understory gas patterns based on image analysis and mapped tree data, Forest Ecology and Management 149: 217-233.